

Osaka University Advanced Network Architecture Research Group <http://www.anarg.jp/>

べき則の性質を有するトポロジにおける パケット転送遅延の評価

平山 孝弘*, 荒川 伸一*,
新井 賢一**, 村田 正幸*

*大阪大学大学院情報科学研究科
**NTTコミュニケーション科学基礎研究所

Osaka University

トポロジが持つ構造とネットワーク性能

- インターネットトポロジの出線数分布はべき則に従う
 - ただし、出線数分布だけでトポロジの構造は決定されない
- 構造の違いによりネットワーク性能も異なる[1]

同じ出線数分布でも、異なる構造を持つトポロジは複数存在

Ref.[2] Figure 6

[1] L. Li, D. Alderson, W. Willinger, and J. Doyle, "A first-principles approach to understanding the Internet's router-level topology," in ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 34, pp. 3-14, Oct. 2004.

Osaka University

研究の目的

- 構造の違いによりネットワークの性能も異なる
 - べき則という特徴だけでネットワーク性能は議論できない
- トポロジが持つ構造がトラフィックの振る舞いにどのように影響するかに着目
 - 特にエンドホスト間フロー制御との相互干渉に着目

↓

- パケット転送に最適な構造的特徴を明らかにし、効率的にパケットを転送できるトポロジの構築手法へ応用

Osaka University

本研究の位置付け

- べき則に従うトポロジにおけるトラフィックの振る舞い
 - フローレベルでの振る舞いに着目した研究が多い
 - エンドホスト間フロー制御は考慮されていない
 - エンドホスト間フロー制御はトラフィックの振る舞いに大きく影響
 - エンドホスト間フロー制御を考慮した評価もされているが、トポロジが持つ構造による影響までは考慮されていない
- エンドホスト間フロー制御が働く状況下での、トポロジが持つ構造的特徴とトラフィックの振る舞いとの関係を明らかにする

Osaka University

ネットワークモデル

ストップ&ウェイト方式でパケット交換
・送信ノード、受信ノードのペアはトポロジ内からランダムに選択
・セッション数を変数として与え、評価

回線容量は均一
各リンクは単位時間当たり1パケットずつ隣接ノードへ転送

最短経路制御
複数の最短経路が見つかる場合は、一本をランダムに選択

バッファ容量は無限
FIFOでパケットを処理

Osaka University

ネットワークトポロジ

- 構造の異なる2つのトポロジを使用
 - ノード数、リンク数は同じ
 - AT&Tトポロジ・・・AT&T社のトポロジを計測し作成
 - BA (AT&T) トポロジ・・・BAモデル[2]により作成

AT&Tトポロジのモデル図

[2] A.-L. Barabási and R. Albert, "Emergence of scaling in random networks," Science, vol. 296, pp. 509-512, Oct. 1999.

Osaka University

エンドホスト間パケット転送遅延時間分布

- AT&Tトポロジにおける遅延時間分布はロングテール
 - 遅延時間が大きいパケットの出現確率が下がりにくい
- トポロジが持つ構造の違いにより、転送遅延時間分布の形状も異なる

Osaka University

2つのトポロジの構造比較

- AT&Tトポロジでロングテールな分布が表れる要因を調査
 - 2つのトポロジの構造を比較することで検証
- ノードの役割を分類[11]
 - トポロジをいくつかのモジュールに分割
 - Participation coefficient, P [$0 \leq P \leq 1$]
- Within-module degree, W

2つの指標に基づき、図のようにノードの役割を分類

W_i は大きく、 W_j は小さい

[11] R. Guimerà and L. A. N. Amaral, "Functional cartography of complex metabolic networks," Nature, vol. 433, p. 895, 2005.

Osaka University

BAトポロジが持つ構造的特徴

- 多くの“Connector hubs”を持つ
 - モジュール同士がハブノードを介し接続
- ハブノードを経由してモジュール間で大量のパケットが移動する

Osaka University

AT&Tトポロジが持つ構造的特徴

- 多くの“Provincial Hubs”を持つ
 - モジュール内のノードはハブノードにより密に接続
 - モジュール間は少数のリンクで接続
- パケットはまずハブノードに集約され、モジュール間を結ぶリンクを経由して移動

Osaka University

ルータレベルトポロジの構造による影響

- AT&Tトポロジにおける転送遅延時間分布を、モジュール間、モジュール内を移動するパケットで区別
 - Inter-module...異なるモジュール間を移動するパケット
 - Intra-module...同じモジュール内を移動するパケット
- モジュール間を移動するパケットにより遅延時間分布がロングテールになる
 - 少数のモジュール間を繋ぐリンクにパケットが集中し、混雑するため遅延が増大

Osaka University

長期依存性の評価

- トラフィックの長期依存性に着目
 - 測定区間のスケールによらず大きく変動する性質
 - 長期依存性が強いトラフィック下では、パケット転送遅延も変動
- キュー長の時間変動における長期依存性を評価
 - 長期依存性の度合いを表す指標：ハースト値 H ($0.5 < H < 1$)
 - RS/plot[12] を用いて測定
 - トポロジ内全てのリンクのハースト値を評価

[12] W. E. Leland, M. S. Taqqu, W. Willinger, and D. V. Wilson, "On the self-similar nature of ethernet traffic (extended version)," IEEE/ACM Transactions on networking, vol. 2, pp. 1-15, Feb. 1994.

長期依存性を持つトラフィックの例

Osaka University 13

BATポロジにおける長期依存性の評価

- セッション数が少ない場合、Betweenness Centralityの高い(パケットの集中する)リンクで強い長期依存性
- セッション数が増えると、強い長期依存性を持つリンクの占める割合が増大

Osaka University 14

AT&Tポロジにおける長期依存性の評価

- BATポロジと同様に、セッション数が少ない場合、パケットの集中するリンクで強い長期依存性
- セッション数が増加しても、BATポロジほどハースト値の高いリンクが占める割合は上がらない

Osaka University 15

トポロジの構造がトラフィックの変動に与える影響

- モジュール間、モジュール内を結ぶリンクを区別し、AT&Tポロジにおけるハースト値の出現頻度を評価
- セッション数が少ない場合、ハースト値が高いリンクは大半がモジュール間を結ぶリンク

Osaka University 16

トポロジの構造がトラフィックの変動に与える影響

- セッション数が増加すると、モジュール内を結ぶリンクでも高いハースト値
 - 多くのリンクではハースト値は大きく変化していない
- モジュール間を結ぶリンクが多量のトラフィックを引き受け、他のリンクのトラフィック変動を抑制

Osaka University 17

まとめと今後の課題

- べき則に従うトポロジにおけるトラフィックの振る舞い
 - 構造の異なる2つのトポロジを使用
 - パケット転送遅延時間分布とキュー長の長期依存性を評価
- AT&Tポロジの構造がトラフィックの振る舞いに影響
 - ロングテールな転送遅延時間の分布
 - モジュール間を結ぶリンクが他のリンクのトラフィック変動を抑制
- 今後の課題
 - 回線容量が異なるトポロジを用いた場合の評価
 - TCPのような複雑なフロー制御を用いた場合の評価
 - ルータ間フロー制御を組み合わせた場合の評価